

УДК 630.383

Профессор М.Ю. Смирнов, доцент Т.В. Скворцова,
докторант С.В. Дорохин, аспирант А.Г. Чистяков
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра информационных систем, моделирования и
управления. тел. 89103434840
E-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru

Professor M.Iu. Smirnov, assistant Professor T.V. Skvortsova,
doctoral S.V. Dorokhin, graduate A.G. Chistiakov
(Voronezh state university of engineering technology) Department of information systems
modeling and control. phone. 89103434840
E-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru

Комплекс программ по моделированию работы автомобильной дороги: модули ПАРК, ПРОФИЛЬ и СОСТАВ

Complex programs for modeling highway: PARK, PROFILE and COMPOSITION

Реферат. Основной частью развивающихся систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог являются имитационные системы, позволяющие видеть дорогу в действии. Моделирование процесса функционирования дороги в такой имитационной системе – это испытание конструкции дороги в ЭВМ. В статье описаны три модуля: ПАРК, ПРОФИЛЬ и СОСТАВ, входящие в комплекс программ имитационного моделирования процесса функционирования автомобильной дороги. Существенное повышение точности результатов моделирования обеспечивает программа ПАРК, создающая нормативно-справочную базу технико-экономических параметров автомобилей, входящих в состав потока. Полнота базы, возможность непрерывного корректирования и постоянного обновления параметров типов автомобилей исключает разномасштабность в расчётах строительных и эксплуатационных затрат при обосновании экономическими расчётами оптимальности проектных решений и повышает достоверность оценки эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию дорог. Оптимизации проектных решений в целом, как единой непрерывной последовательности сочетаний элементов дороги, способствует программа ПРОФИЛЬ, анализирующая геометрические элементы плана, продольного профиля, сжимающая информацию о геометрии пути для последующего моделирования процесса функционирования дороги. Программа ПРОФИЛЬ (и построенные на её основе программы БАЗИС, ПРОФИЛЬ) является связующей между проектирующими программами и программами, моделирующими дорожное движение. Транспортно-эксплуатационные характеристики дороги смоделированы ЭВМ для определённого состава автомобильного потока. Технико-экономические параметры автомобилей, входящих в состав потока (до 20, что вполне достаточно для практических и исследовательских задач) и их процентное содержание в потоке программа СОСТАВ выбирает из нормативно-справочной базы, сформулированной ранее модулем ПАРК, и записывает их в рабочий файл для последующего использования их модулем ТРАССА.

Summary. The main part of developing computer-aided design of roads are simulation systems to see the road in action. Modeling of the functioning of the road in such a simulation system - this test road design in the computer. This article describes three modules: PARK, PROFILE, COMPOSITION and comprising a set of process simulation programs functioning road. A significant increase in the accuracy of simulation results provides software parks established normative reference database of technical and economic parameters of vehicles belonging to the stream. Completeness framework allows continuous adjustment and constant updating of the parameters types of cars in different scales calculation excludes construction and operating costs in justifying economic calculations optimality design solutions and increases the reliability of evaluating the effectiveness of capital investments in the construction and reconstruction of roads. Optimization of the design solutions in general, as a single continuous sequence of combinations of elements contributes to road profile program that analyzes the geometric elements of the plan, longitudinal section, compressing the geometry information of the way for the subsequent modeling of the functioning of the road. Program PROFILE (and built on its basis BASIS program, PROFILE) is a nexus between the projecting programs and programs that simulate traffic. Transport and road performance computer modeled for a particular stream of automobile. Technical and economic parameters of vehicles belonging to the flow (up to 20, which is sufficient for practical and research tasks) and their percentage in the flow of the program selects COMPOSITION regulatory reference framework articulated earlier PARK module and writes them to a working file for their subsequent use module RIDE.

Ключевые слова: моделирование, скорость, автомобильная дорога, комплекс программ, оптимизация решения, алгоритм, дорожные условия, режим движения.

Keywords: modeling, speed, road, complex programs, optimization solutions, algorithm, road conditions, driving mode.

© Смирнов М.Ю., Скворцова Т.В.,
Дорохин С.В., Чистяков А.Г., 2014

Техническое противоречие, выражающееся в несоответствии традиционной технологии проектирования дорог и усложняющихся качественных аспектов работы транспорта, снимается автоматизацией проектирования, внедрением системы автоматизированного проектирования (САПР). Однако только дополнение традиционной технологии проектирования современными средствами автоматизации чертёжных работ и инженерно-технических расчётов слабо способствует решению всё усложняющихся задач проектирования дорог [1-3].

Определены следующие основные задачи разработки подсистемы комплексного моделирования, которые решались на основе системного подхода:

1. Подсистема моделирования процесса функционирования дороги должна разрабатываться как часть общей системы автоматизированного проектирования.

Это значит, что определенные функции проектирующих программ должны быть заложены в алгоритм и программы моделирования процесса функционирования дороги. В частности, программа моделирования должна быть согласована с проектирующими программами по входным параметрам, а результат моделирования должен показывать проектировщику направление оптимизации проектного решения.

2. Оптимизация проектного решения на основе всестороннего испытания конструкции дороги на ЭВМ требует, чтобы подсистема моделирования давала возможность комплексной оценки дороги по её основным транспортно-эксплуатационным характеристикам. В этот комплекс включаются показатели экономичности и безопасности движения, энергетические и экологические, скорость и время движения. Требование всесторонности испытания проектируемой дороги заставляет рассчитывать в процессе моделирования не только общие и средние показатели, но эпюры видимости, детальные эпюры расхода топлива, себестоимости перевозок, эмиссии токсичных веществ и т.п., позволяющие выявлять элементы и участки дорог, требующие вариантного проектирования. Алгоритм моделирования должен обеспечить данными подсистему направленного выбора варианта оптимального по комплексу показателей, иногда взаимно противоречивых.

3. Поскольку оптимизация проектного решения достигается в процессе детального анализа дорожных условий, то алгоритм моделиро-

вания процесса функционирования дороги должен учитывать дорожные условия с максимальной полнотой, позволяющей отражать показателями дорожного движения любые небольшие изменения проектных решений. При этом исходными данными программы, оценивающей проектное решение, должны быть: все параметры продольного профиля (отметки, уклоны и длины подъёмов и спусков, радиусы вертикальных выпуклых и вогнутых кривых и т.п., определённая проектом последовательность элементов профиля); параметры поперечного профиля (ширина полосы движения проезжей части, обочин, количество полос движения и т.п.); параметры проезжей части (ровность и шероховатость и т.п.); параметры плана (все параметры прямых и кривых); определённая проектом последовательность элементов плана и профиля; параметры дорожной обстановки (элементы благоустройства населённых пунктов, тип и параметры пересечений дорожных знаков и т.п.) [2, 4].

4. Так как для оптимизации проектного решения требуется существенное повышение точности и достоверности результатов моделирования процесса функционирования дороги по показателям движения автомобилей, то алгоритм подсистемы должен с максимальной полнотой моделировать режимы движения автотранспортных потоков.

Точность и достоверность характеристик режимов движения существенно повышается с уточнением состава потоков. Исходными данными для программы моделирования должны быть конкретные параметры двигателей и автомобилей типовых моделей потока. Структура базы справочных данных подвижного состава должна быть разработана с учётом её расширения для моделирования движения не только современных автомобилей, но и перспективных моделей, учёта дизелизации автомобильного парка. Структура базы данных должна обеспечить моделирование движения на высокогорных дорогах. Алгоритм должен обеспечить достоверное моделирование процесса функционирования дороги в сложных климатических и погодных условиях.

Решение указанных задач, разработка алгоритмов позволили создать целый комплекс программ, составивших ядро подсистемы моделирования процесса функционирования дороги в системе автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР АД). Программы основаны на результатах исследования влияния дорожных условий на ре-

жимы движения автомобилей и автомобильных потоков при автоматизированном проектировании дорог. В то же время разработка алгоритмов и программ потребовала решения самостоятельных сложных задач максимального отражения в программах моделирования геометрических параметров трассы, моделирования решений водителя по выбору режимов движения при восприятии проектируемых дорожных условий, обобщения методик решения задач по теории автомобиля, теории двигателя, теории транспортных потоков [1, 4, 5].

Системный подход, как основное требование при разработке подсистем САПР, потребовал увязки на уровне входных данных и результатов практически всех программ, входящих в комплекс моделирования процесса функционирования дороги. Входные данные и результаты программ этого комплекса легко адаптируются с проектирующими программами первой и последующих очередей САПР АД. Комплекс моделирования процесса функционирования дороги (рисунки 1 а, б и 2 а, б) включает следующие модули: ПРОФИЛЬ, СОСТАВ, ТРАССА, КОЛОННА.



Рисунок 1. Блок-схема модулей СОСТАВ (а) и ПРОФИЛЬ (б)

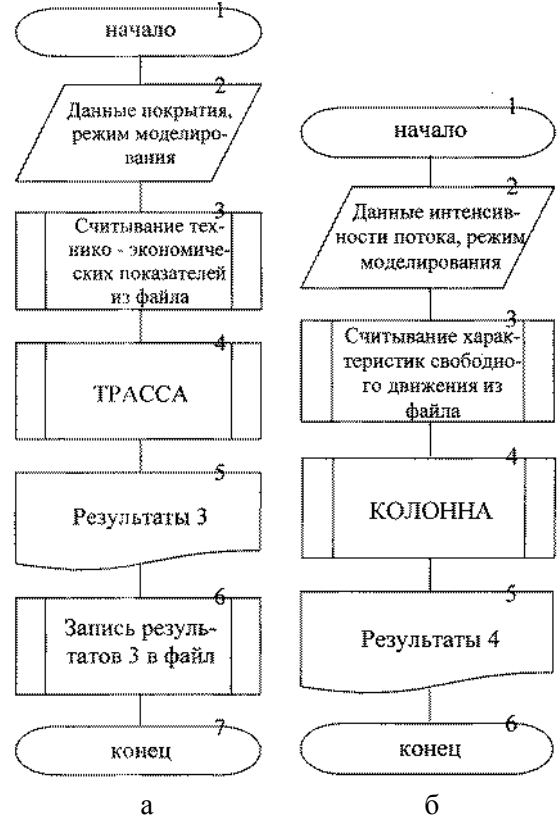


Рисунок 2. Блок-схема модулей ТРАССА (а) и КОЛОННА (б)

Модуль ПАРК. Качество проектных решений определяется показателями транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, которые в значительной степени зависят от технико-экономических параметров автомобилей, входящих в состав транспортных потоков. Учёт этих параметров в программах моделирования процессов функционирования дороги сопряжён со следующими трудностями, которые преодолены в модуле ПАРК.

Во-первых, многообразие типов автомобилей настолько велико, что практикуемое простое разделение на тихоходные и быстроходные, или даже на легковые, грузовые и автобусы явно недостаточно.

Это приводит к снижению точности рассчитываемых показателей движения автомобилей и автомобильных потоков на 10-20 % и ухудшает качество проектных решений вследствие неточности критериев оптимизации.

При моделировании дорожного движения необходимо основываться на современной классификации подвижного состава, которая и положена в основу алгоритма модуля ПАРК.

Во-вторых, алгоритмом модуля ПАРК разрешено техническое противоречие между большим расчётным сроком, на который раз-

рабатывается проектное решение и параметрами автомобилей сегодняшнего парка подвижного состава, на которые рассчитываются дорожные сооружения.

Алгоритмом модуля ПАРК предусмотрен ввод параметров перспективных несерийных моделей автомобилей и моделирование их движения модулем ТРАССА, на основе единой методики.

Третья особенность модуля ПАРК состоит в том, что она позволяет повышать точность и достоверность технико-экономических обоснований капитальных вложений в дорожное строительство. Отчисляя приведенные затраты при сравнении вариантов проектных решений, проектировщик калькулирует затраты на строительство по самым последним расценкам, а эксплуатационные затраты (на перевозки) по расходным ставкам, пересчёт которых в инструктивных документах существенно запаздывает в связи с изменением отпускных цен автомобилей, цен на топливо, корректировкой норм отчислений на амортизацию и т.п.

Это противоречие снято соответствующей разработкой структуры нормативно-справочной базы, в которой непрерывно корректируются технико-экономические параметры автомобилей, позволяющие рассчитывать себестоимость перевозок по всем её составляющим с учётом всех изменений дорожных условий при вариации проектных решений.

Таким образом, составляющие приведённых затрат рассчитываются в едином масштабе цен.

Модуль ПАРК выполняется при настройке системы моделирования. Общее количество типов автомобилей в нормативной базе – 80. В том числе: грузовых – 60, автобусов и легковых – по 10.

Группы грузовых разделены по грузоподъёмности: 1-10 – малые (до 2 т); 11-20 – средние (2-5 т); 21-30 – большие (более 5 т); 31-40 – автопоезда (карбюраторные); 41-50 – большие дизели (более 5 т); 51-60 – автопоезда дизельные.

Группа автобусов разделена по вместимости: 61 – особо малые; 62 – малые; 63 – средние; 64 – большие; 65-70 – запасные.

Группа легковых автомобилей разделена по объёму двигателей: 71 – особо малые; 72 – малые; 73 – средние; 74-80 – запасные.

В нормативно-справочной базе хранятся введённые при настройке программы следующие данные: наименование марок автомобилей; технические параметры (полный вес, гру-

зоподъёмность, радиус качения колеса, фактор сопротивления воздуха, минимальный расход топлива, кг/л.с. час., объём и мощность двигателя и т.п.); технико-экономические показатели (стоимость автомобиля, нормы затрат на ремонт и обслуживание, на ремонт и восстановление шин, стоимость топлива и т.п.).

По мере разработки новых типов и марок автомобилей нормативно-справочная база дополняется их техническими и технико-экономическими показателями. Такое дополнение выполняется с помощью модуля ПАРК ПЛЮС. Этой же программой можно исправить отдельные технико-экономические показатели (стоимость автомобиля, затраты на ремонт и восстановление шин, на амортизацию и т.п., также, например, пониженную мощность в высокогорных условиях, установку на автомобиль нового двигателя и т.п.).

Модуль ПРОФИЛЬ. Оптимизация проектного решения по комплексу транспортно-эксплуатационных характеристик обеспечивается соответствующими параметрами дороги и дорожных сооружений и рациональным сочетанием геометрических элементов трассы дороги. Если параметры дороги и дорожных сооружений оптимизировать отдельно (отдельно ширину полосы движения, отдельно радиус кривой в плане, отдельно величину продольного уклона) даже по комплексу показателей, входящих в состав транспортно-эксплуатационных характеристик, – это ещё не гарантирует оптимизации в целом дороги как линейного сочетания элементов трассы, дорожной обстановки и т.п. Инерционность присуща не только механической системе дорога-автомобиль, но и процессам восприятия и переработки водителем информации о дорожных условиях. Это обстоятельство требует, чтобы система испытания конструкции дороги в САПР АД обеспечивала непрерывную машинную имитацию восприятия автомобилем и водителем все последовательности дорожных условий, запроектированной проектировщиком в виде плана, продольного профиля, дорожной обстановки на соответствующих пикетах и т.п. Такой подход к испытанию дороги обеспечивает оптимизацию проектного решения в целом и формализует требования к подсистеме обработки и ввода в имитационную систему геометрических параметров проектируемой дороги [4, 5].

Модуль ПРОФИЛЬ является связующей между проектирующими программами и программами моделирования движения автомоби-

лей и автомобильных потоков. Именно в этом качестве модуль ПРОФИЛЬ функционирует в едином пакете программ проектирования продольного профиля в САПР АД. При традиционном проектировании модуль ПРОФИЛЬ связывает результаты ручного проектирования плана, продольного и поперечного профилей с программами моделирования движения. В модуле ПРОФИЛЬ анализируются геометрические элементы дороги и снимается информация о дорожных условиях. Блок-схема модуля (рисунки 3 и 4) показывает, что в модуле решаются трудоёмкие задачи [3, 5].

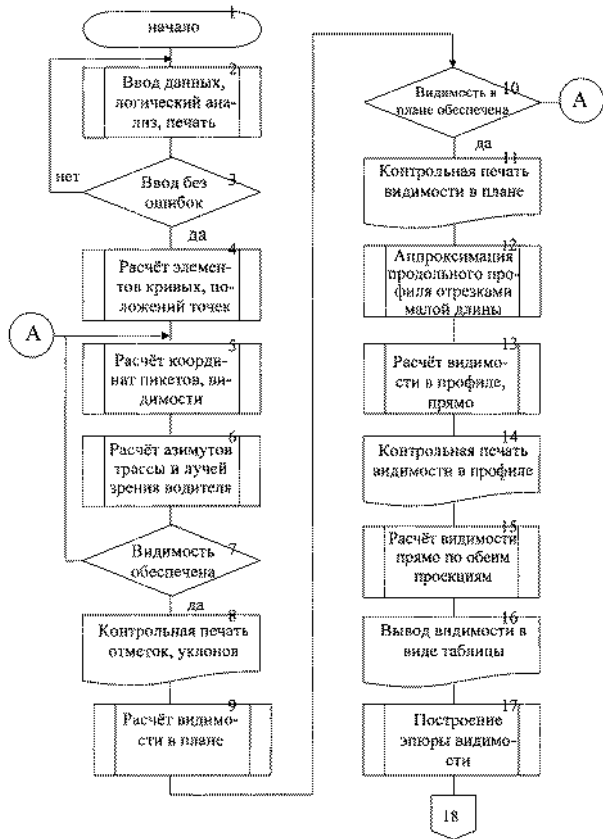


Рисунок 3. Блок-схема модуля ПРОФИЛЬ (начало)

Вручную ряд этих задач не решается и поэтому проектное решение не анализируется всесторонне.

В частности, проектировщик редко анализирует условия видимости поверхности дороги в продольном профиле, ориентируясь на нормативное значение радиусов вертикальных выпуклых кривых, практически не анализирует условия видимости в плане и продольном профиле встречных автомобилей. Это приводит к усложнению режимов движения из-за допущенных дефектов проектирования и

необходимости корректировать режимы в процессе организации движения. Такие нередкие недостатки проектных решений, обусловленные жёсткими сроками проектирования и существенной громоздкостью графоаналитических расчётов, могут быть устранены при широком освоении проектными организациями метода автоматизированного построения эпюр видимости модуль ПРОФИЛЬ.

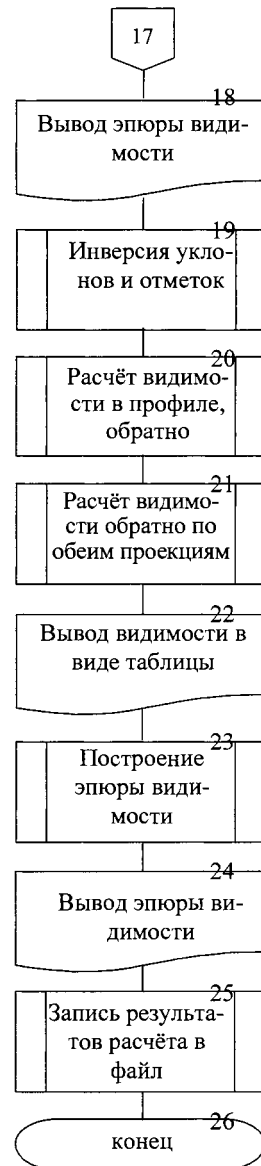


Рисунок 4. Блок-схема модуля ПРОФИЛЬ (окончание)

Исходная информация вводится с дисплея при совместном функционировании с проектирующими программами.

Данными для программы ПРОФИЛЬ служат: название дороги; номер варианта; начальный пикет; управляющие параметры

режима ввода; параметры плана (количество кривых, пикетные положения середины кривых, углы поворота, уклоны виражей, радиусы кривых); шаг расчёта (расстояние между точками, в которых рассчитывают транспортно-эксплуатационные показатели); параметры продольного профиля (количество элементов профиля, признаки элементов, то есть коды прямой и вертикальной кривой, длины элементов, уклоны прямых и радиусы вертикальных кривых); расстояния видимости с последнего пикета в прямом направлении и с начального пикета в обратном; данные о боковых препятствиях, ограничивающих видимость (количество справа и слева, пикетное положение препятствий и расстояние от оси крайней полосы до препятствия).

Результаты расчёта модулем ПРОФИЛЬ:

1. Логический контроль исходной информации.
2. Распечатка данных отдельно по плану, по продольному профилю, по боковым препятствиям.
3. Таблицы попикетной видимости в плане, в профиле и общая для обеих проекций поверхности дороги и встречного автомобиля в прямом и обратном направлениях.
4. Эпюры видимости поверхности дороги в прямом и обратном направлениях.
5. Сжатие информации и запись её в рабочий файл для последующего использования модулями ТРАССА и КОЛОННА.

В модуле ПРОФИЛЬ одна из главных задач – это анализ видимости поверхности дороги и встречного автомобиля. Расчёты видимости с каждого пикета выполняются отдельно для плана и отдельно для продольного профиля. Эпюра видимости строится по минимальным значениям видимости на пикетах. При расчётах расстояний видимости моделируется восприятие водителем трассы дороги.

При расчётах видимости в продольном профиле исходными служат отметки профиля через l (м). Ищется расстояние от данного пикета до точки касания лучом зрения водителя ближайшей выпуклости профиля.

При расчёте видимости в плане учитывают, что она может быть ограничена боковыми препятствиями (откосами выемок, лесополосами, строениями внутри дорожного закругления и т.п.). Расстояния видимости определяют, сравнивая азимуты луча зрения водителя на последовательные пикеты дороги и азимут направления на боковое препятствие. Азимуты

находят, решая обратные геодезические задачи по координатам соответствующих точек.

На конечных участках трассы необходимо учитывать видимость дороги за пределами конечных участков.

Модуль СОСТАВ. Транспортно-эксплуатационные характеристики дороги должны быть смоделированы ЭВМ для определённого состава автомобильного потока. Техничко-экономические параметры автомобилей, входящих в состав потока, необходимо выбрать из нормативно-справочной базы, сформулированной ранее модулем ПАРК. Эта выборка параметров автомобилей осуществляется модулем СОСТАВ.

Исходные данные о типах автомобилей (до 20, что вполне достаточно для практических и исследовательских задач) и их процентное содержание в потоке программа СОСТАВ выбирает из нормативно-справочной базы, необходимые параметры, записывает их в рабочий файл для последующего использования их модулем ТРАССА.

Сделаны следующие выводы. Существенное повышение точности результатов моделирования обеспечивает модуль ПАРК, создающая нормативно-справочную базу технико-экономических параметров автомобилей, входящих в состав потока. Полнота базы, возможность непрерывного корректирования и постоянного обновления параметров типов автомобилей исключает разномасштабность в расчётах строительных и эксплуатационных затрат при обосновании экономическими расчётами оптимальности проектных решений и повышает достоверность оценки эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию дорог.

Оптимизации проектных решений в целом как единой непрерывной последовательности сочетаний элементов дороги способствует модуль ПРОФИЛЬ, анализирующая геометрические элементы плана, продольного профиля, сжимающая информацию о геометрии пути для последующего моделирования процесса функционирования дороги. Модуль ПРОФИЛЬ (и построенные на её основе программы БАЗИС, ПРОФИЛЬ) является связующей между проектирующими программами и программами, моделирующими дорожное движение. В таком качестве модуль ПРОФИЛЬ функционирует в едином пакете программ проектирования продольного профиля в первой очереди САПР АД.

ЛИТЕРАТУРА

1 Скрыпников А.В. Построение процедур выбора управленческих решений на основе оптимизационных моделей // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 10(24). С. 217-221.

2 Скрыпников А.В. Разработка теоретических основ и методов управления лесовозным автотранспортом // Бюллетень транспортной информации. 2009. № 9 (171). С. 25-27.

3 Скрыпников А.В. Теоретические основы и методы организации и управления дорожным движением // Бюллетень транспортной информации. 2010. № 1 (175). С.10-15.

4 Скрыпников А.В. и др. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: монограф. М.: ФЛИНТА: Наука. 2012. 310 с.

5 Скрыпников А.В., Скворцова Т.В., Кондрашова Е.В. Пропускная способность регулируемого перекрёстка // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сборник науч.тр. 2007. Вып. 2. С. 201-204.

REFERENCES

1 Skrypnikov A.V. Construction procedures for selecting management decisions based on optimization models. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki*. [Questions modern science and practice. University. VI Vernadsky], 2009, no. 10 (24), pp. 217-221. (In Russ.).

2 Skrypnikov A.V. Develop a theoretical framework and management practices Timber trucks. *Biulleten' transportnoi informatsii*. [Bulletin of transport information], 2009, no. 9 (171), pp. 25-27. (In Russ.).

3 Skrypnikov A.V. Theoretical bases and methods of organization and traffic management. *Biulleten' transportnoi informatsii*. [Bulletin of transport information], 2010, no. 1(175), pp.10-15. (In Russ.).

4 Skrypnikov A.V. et al. Metody, model i algoritmy povysheniia transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobil'nykh dorog v protsesse proektirovaniia, stroitel'stva i ekspluatatsii [Methods, models and algorithms for improving transport and performance of forest roads in the design, construction and operation]. Moscow, FLINTA: Nauka, 2012. 310 p. (In Russ.).

5 Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V., Kondrashova E.V. Bandwidth regulated crossroads. *Perspektivnye tekhnologii, transportnye sredstva i oborudovanie pri proizvodstve, ekspluatatsii, servise i remonte*. [Emerging technologies, vehicles and equipment in the production, exploitation, service and repair], 2007, Issue 2, pp. 201-204. (In Russ.).